

## インタレース画像に対するサブバンドスケーラブル符号化

### Subband Scalable Coding for Interlaced Video Sequences

吉田 健宏<sup>†</sup>  
Takehiro Yoshida

沢田 克敏<sup>‡</sup>  
Katsutoshi Sawada

**Abstract** Resolution scalability refers to a picture coding property where pictures at lower different resolutions can be reconstructed by decoding only the subsets of a single coded bit stream, while the full resolution picture is reconstructed by decoding the total bit stream. This paper describes a spatio-temporal scalable video coding scheme which employs adaptive field/frame subsampling with adaptive interpolation for temporal scalability and adaptive infield/inframe subband coding for spatial scalability. The proposed scheme can be applied to interlaced video sequences effectively, providing four different spatio-temporal resolutions of an input video sequence. Computer simulation experimental results have shown that this scheme has higher coding performance compared to conventional non adaptive schemes.

#### 1. はじめに

今後の画像通信サービスにおいては、各種解像度の画像が共存することが想定される。このような状況下では、1つの符号化データから異なる解像度の画像を再生できることが望ましい。そのためには符号化方式にスケーラビリティ機能をもたせることが必要になる。スケーラビリティとは、符号化データのうち1部分のみを復号して低解像度の画像が得られ、すべてのデータを復号することでフル解像度画像が得られる機能である。スケーラビリティには、時間スケーラビリティ、空間スケーラビリティ、SNRスケーラビリティがある。時間スケーラビリティは時間解像度が異なる画像を、また、空間スケーラビリティは空間解像度が異なる画像を再生することができる符号化機能である。このようなスケーラブル符号化は、解像度の異なるビデオシステムの統合やデータベースの検索、エラー耐性の強化等への応用を可能とする。

本研究においては、時間的にも空間的にも解像度を可変とする機能を持つ時-空間スケーラブル符号

化について検討する。時間スケーラブル符号化ではインタレース画像の特徴を利用したフィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿を用い、空間スケーラブル符号化では同じくインタレース画像に対する符号化としてフィールド/フレーム適応サブバンド符号化を提案し、検討する。

#### 2. 時-空間スケーラブル符号化

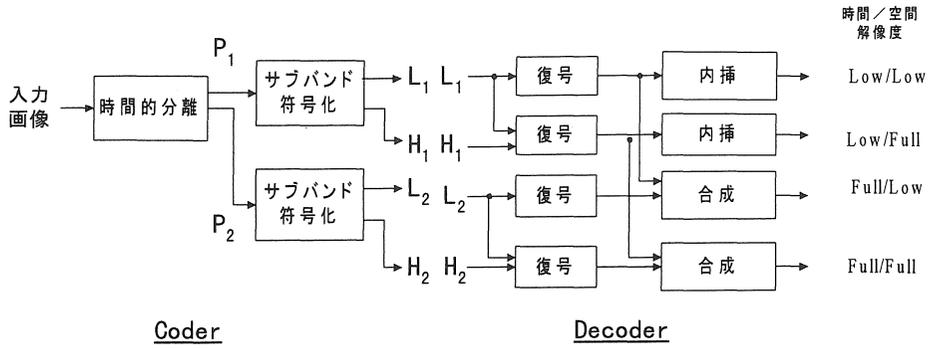
##### 2.1 全体的構成<sup>1)</sup>

図1に本論文で検討する時空間解像度スケーラブル符号化の全体的な構成を示す。符号化側では、入力画像に対して2フレーム単位で静止領域/動領域の判定を行い、フィールド/フレーム適応サブサンプリングにより2つの画像 $P_1$ 、 $P_2$ に分離する。次に $P_1$ 及び $P_2$ をサブバンド分割してそれぞれ低周波成分( $L_1$ 、 $L_2$ )と高周波成分( $H_1$ 、 $H_2$ )に分けてそれぞれMC予測符号化を行う。

復号側では $L_1$ 成分を復号してフィールド/フレーム適応内挿を用いて時間的低解像度(L)/空間的低解像度(L)の画像を得る。また、 $L_1$ と $H_1$ を復号してフィールド/フレーム適応内挿を用いて時間的低解像度(L)/空間的フル解像度(F)の画像を得る。さらに、 $L_1$ 、 $L_2$ のみを復号すれば、時

<sup>†</sup> 愛知工業大学大学院電気電子工学専攻 (豊田市)

<sup>‡</sup> 愛知工業大学 情報通信工業学科 (豊田市)



**Coder**

**Decoder**

図 1 時空間スケラブル符号化のブロック

間的フル解像度 (F) /空間的低解像度 (L) が得られ、すべてのデータを復号すれば時間的にも空間的にもフル解像度画像が得られる。

表 1 に符号化データと再生される時間/空間解像度の関係を示す。

表 1 符号化データと時空間解像度

	Temporal/Spatial	Coded data
	Low/Low	$L_1$
	Low/Full	$L_1+H_1$
	Full/Low	$L_1+L_2$
	Full/Full	$L_1+L_2+H_1+H_2$

**2.2 時間スケラブル符号化**

時間スケラブル符号化は、インタレース画像に対して単純にフィールド (又はフレーム) の間引きによる方法で実現が可能である。時間的低解像度画像では、片フィールド (又はフレーム) の復号と間引かれたフィールド (又はフレーム) を内挿して得られる。また、フル解像度画像は、奇数・偶数両フィールド (又はフレーム) の復号で得られる。しかし、フィールド内挿では静止領域の空間解像度が低下し、またフレーム内挿では動きが不自然となる。このため静止領域ではフレームサブサンプリングと

フレーム内挿を、動領域ではフィールドサブサンプリングとフィールド内挿を適応的に切り替えて符号化及び復号を行うフィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿を提案する。

**2.3 フィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿**

フィールド/フレーム適応サブサンプリングを用いた時間スケラブル符号化の方法<sup>2) 3)</sup>を図 2 に示す。また、復号時の時間的低解像度画像の再生に用いるフィールド/フレーム適応内挿の方法を図 3 に示す。

符号化側では、フィールド/フレーム適応サブサンプリングを用いる。まず、2フレーム (4フィールド) を 1 単位として、一定ブロック毎に静止判定を行う。(2.5.1 節参照) ただし、第 1 フレームと第 2 フレームにおいて、空間的に同じ位置のブロッ

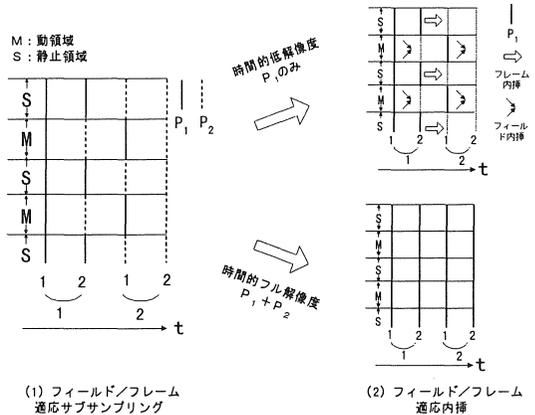


図 2 時間スケラブル符号化

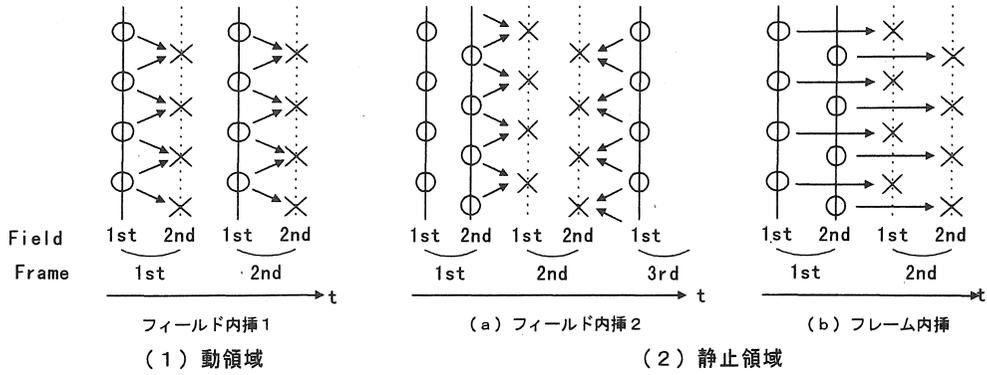


図3 フィールド/フレーム適応内挿

クの静止判定が異なる場合は両方も動領域とする。次に静止領域ではフレームサブサンプリングを、動領域ではフィールドサブサンプリングを行う。こうして図2に示すように実線部分の $P_1$ と点線部分の $P_2$ の2つの画像に分離される。

復号側では、時間的フル解像度画像は $P_1$ と $P_2$ の両方のデータにより再生される。時間的低解像度画像は、 $P_1$ のみのデータからフィールド/フレーム適応内挿を用いて再生される。フィールド/フレーム適応内挿においては、動領域ではフィールド内挿1を、静止領域ではフィールド内挿2またはフレーム内挿を行う。静止領域での2つの内挿は次に示す判定により決められる。まず各ブロック内の各画素の第1、第2フレーム間差絶対値 $e_i$ により次のようにあらためて静止判定を行う。

- ・ “ $e_i > T$ となる画素数”  $\geq n$  ならば動領域
  - ・ “ $e_i > T$ となる画素数”  $< n$  ならば静止領域
- ただし、 $T$ 、 $n$ は閾値とする。

もし、ここで動領域と判定されたならば、フィールド内挿2を、また静止領域と判定されたならば、フレーム内挿を行う。

2.4 空間スケラブル符号化

本研究では、サブバンド分割・合成を用いて空間スケラブル符号化を実現する。2階層サブバンド分割・合成を図4に示す。また、サブバンド符号化による空間スケラブル符号化の処理を図5に示す。まず、入力画像に対して、サブバンド分割により4つのサブバンド画像LL、LH、HL、HHを得る。ここで、LL、LH、HL、HHにおいて、最初の記号L(H)は、垂直方向が低周波(高周

波)成分であることを示し、次の記号L(H)は水平成分が低周波(高周波)成分であることを示している。このうち、LL画像のみ復号すれば、空間的低解像度画像が得られ、すべてのサブバンド画像を復号する事で空間的フル解像度画像が得られる。

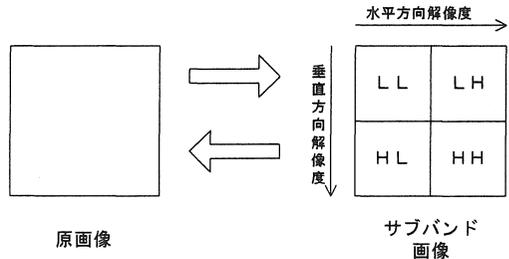


図4 サブバンド分割・合成

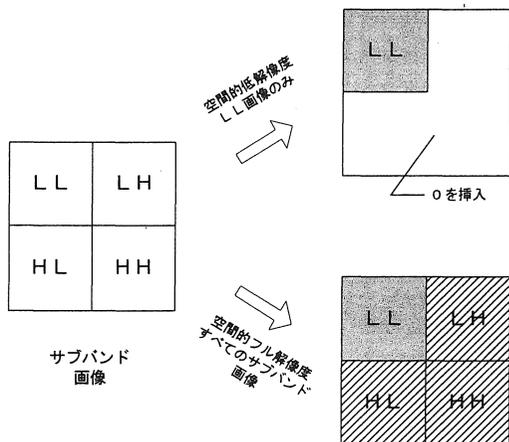


図5 空間スケラブル符号化の構成図

2.5 フィールド/フレーム適応サブバンド

従来のサブバンド符号化では、フィルタリングとサブサンプリングをフィールド内で行ってきた。しかし、インタレース画像は1画面(フレーム)を2枚のフィールドで構成し、飛び越し走査するため静止部分では2フィールドを合わせてサブバンド符号化を行うフレームサブバンドが有効となる。一方、2フィールド間では時間差が生じるため、動領域ではフィールドに分けてサブバンド符号化を行うフィールドサブバンドが有効となる。そこで、本論文では領域毎に画像の静/動を判定し、フィールドサブバンドとフレームサブバンドを適応的に切り替えるフィールド/フレーム適応サブバンド<sup>4)</sup>を提案する。

2.5.1 静動判定の方法

まず画像をブロックに分割し、各ブロック毎の静・動の判定を以下に示す式(1)と式(2)を使って行う。

この判定では、まずブロック内での第1フィールド内、第2フィールド内それぞれのライン間の画素差分絶対値和D1とフレーム内のライン間(すなわちフィールド間)の画素差分絶対値和D2を比較する。その結果、D1が大きい場合は静止領域、D2が大きい場合は動領域と判定する。

$$D1 = \frac{1}{N \times (N-1)} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (|x_{ij} - x_{ij+1}| + |y_{ij} - y_{ij+1}|) \tag{1}$$

$$D2 = \frac{1}{N \times (N-1)} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (|x_{ij} - y_{ij}| + |y_{ij} - x_{ij-1}|) \tag{2}$$

$X_{ij}$ : First field pixel  
 $Y_{ij}$ : Second field pixel

$D1 > D2$  : Stationary Block  
 $D1 \leq D2$  : Moving Block

2.5.2 フィールド/フレーム適応サブバンド処理

適応サブバンド処理の手順は以下の通りである。

- (1)まず、画像をフレーム単位でブロックに分け、ブロック毎に静止領域か動領域かを判定する。(2.5.1参照)
- (2)各静止領域ではフレーム単位で、動領域ではフィールド単位でブロックを再構成する。ただし、ブロックの静もしくは動の判定が垂直方向隣接ブロック間で同じ場合には、それらのブロックを連結してブロックを拡大する。
- (3)水平方向のフィルタリングとサブサンプリングはブロックに関係なく画像の端から端まで行う。
- (4)垂直方向のフィルタリングとサブサンプリングはブロック単位で、ブロックの端から端まで行う。

2.6 MC予測サブバンドスケラブル符号化

前述のフィールド/フレーム適応サブバンドと動

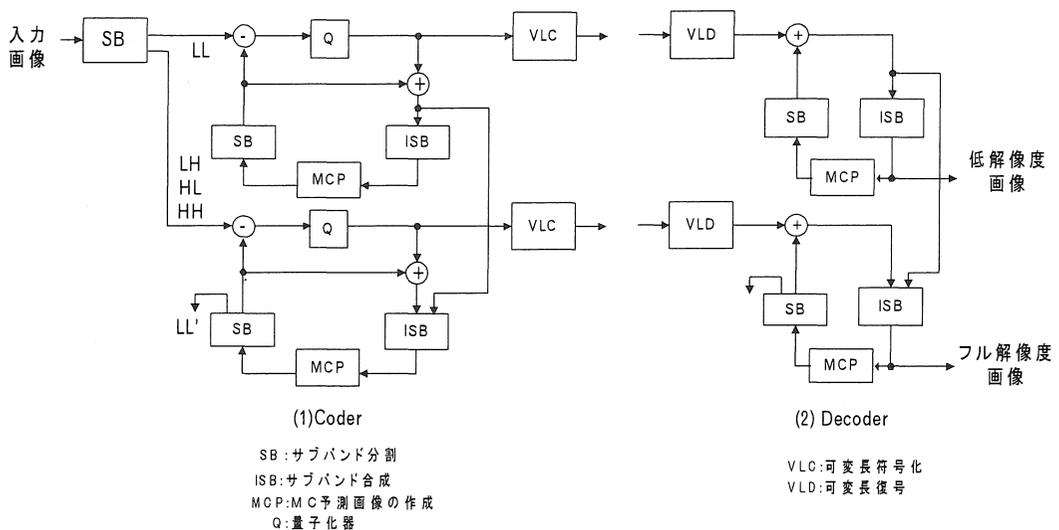


図 6 MC予測サブバンド符号化の構成図

画像符号化に有効な動き補償 (MC) 予測符号化を組み合わせたMC予測サブバンドスケーラブル符号化の構成<sup>5) 6)</sup>を図6に示す。

符号化側では、入力画像に対してサブバンド分割により4つの周波数成分画像を得る。その4つの成分を低周波成分 (LL) と高周波成分 (LH、HL、HH) の階層に分ける。各サブバンド画像に対するMC予測符号化はそれぞれの階層毎に行う。ただし、各階層の予測ループは、低周波成分の階層では、高周波成分をゼロとしてサブバンド合成を行い入力画像と同じサイズの再生画像を用いて予測画像を作成する。一方、高周波成分の階層では低周波成分をも用いてサブバンド合成を行い再生画像を得て予測画像を作成する。これらの予測画像に対しサブバンド分割を行い符号化対象のサブバンド画像との差分をとり、量子化、エントロピー符号化をする。また、図では省略しているがMC予測に用いるMCベクトルについてもエントロピー符号化を行う。

復号側では、低周波成分の階層のみのデータを復号すれば低解像度画像が得られ、また、低周波成分の階層に加え、高周波成分の階層のデータを復号すれば入力と同じ解像度の画像が得られる。

### 3. シミュレーション実験

これまで述べてきたフィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿を用いた時間スケーラブル符号化と、フィールド/フレーム適応サブバンドとMCによる空間スケーラブル符号化を用いた時-空間スケーラブル符号化について計算機シミュレーション実験を行い符号化特性を調べた。比較として非適応フィールドサブサンプリングとフィールドリピートを用いた時-空間スケーラブル符号化、非適応フレームサブサンプリングとフレーム内挿を用いた時-空間スケーラブル符号化の方式について符号化特性を調べ、比較検討を行う。

サブバンド符号化は、適応サブサンプリング方式に対してのみフィールド/フレーム適応サブバンドを用い、その他の方式に対しては、フィールドサブサンプリングについてはフィールドバンドを、またフレームサブサンプリングについてはフレームサブバンドを用いた。

### 3.1 実験の諸元

#### (1)使用画像

- ・ C C I R-601 規格
- ・ Cheerleader, Flower garden, Table tennis, Mobile & calendar の輝度信号
- ・ 2 : 1 インタレース画像
- ・ 画像サイズ : 水平 7 2 0 画素、垂直 4 8 0 ライン
- ・ 使用フレーム : 第 1 フレームから第 1 2 フレーム

#### (2)サブバンド

- ・ フィルタ : Q M F 3 2 タップ (水平方向)、Q M F 8 タップ (垂直方向)
- ・ 静止判定ブロックサイズ : 1 2 × 1 2
- ・ サブバンド分割 : 4 分割 (L L、L H、H L、H H)

#### (3)動き補償予測

- ・ 1 画素精度全探索ブロックマッチング法
- ・ MC探索範囲 : 水平 ± 2 4 画素、垂直 ± 1 2 ライン
- ・ MCブロックサイズ : 1 2 × 1 2

#### (4)量子化特性

- ・ 等間隔量子化
- ・ 各サブバンド画像に対する量子化ステップサイズは以下の5通り

$$\{L L : L H : H L : H H\} = \begin{cases} \{3 : 6 : 6 : 12\} \\ \{4 : 8 : 8 : 16\} \\ \{8 : 16 : 16 : 32\} \\ \{16 : 32 : 32 : 64\} \\ \{32 : 64 : 64 : 128\} \end{cases}$$

但 し  $S_{p,p} = 255$

### 3.2 実験の結果及び考察

#### (1)各階層の時間空間解像度の再生画像品質の比較

時-空間スケーラブル符号化により、時間的にも空間的にもフル解像度の画像、時間的に低解像度・空間的にフル解像度の画像、時間的にフル解像度・空間的に低解像度の画像、そして時間的にも空間的にも低解像度の画像という4種類の時-空間解像度の異なる画像が得られることを確認した。視覚的な

面での違いは、時間的低解像度画像はフル解像度画像に比べて動きがなめらかではない。また、空間的低解像度画像は、空間的フル解像度画像と比べて全体的に鮮明さが低くなる。

(2)適応方式と非適応方式における符号化特性と再生画像品質

図 7、図 8 にテスト画像 *Cheerleader* に対する符号化特性を示す。空間的フル解像度画像においてはフィールド/フレーム適応サブバンドの方式は、非適応サブバンドの方式と比べわずかであるが優れている。空間的低解像度画像では、フィールド/フレーム適応サブバンドの特性は他の非適応の方式より向上しており、フィールドサブバンドより 3 [dB], フレームサブバンドより 1 [dB] 程度向上している。

視覚的な面では、フル解像度画像においては違いが見られなかった。空間的低解像度画像での適応サブバンドはフィールドサブバンドより、また動領域ではフレームサブバンドより画質が向上していることを確認している。特に特性の違いが明確である画像として図9に *Flower garden* の静止領域の一部分を図10に *Table tennis* の動領域の一部分を示す。時間的低解像度画像ではフィールド/フレーム適応サブサンプリング方式は、静止領域ではフィールド内挿のみの場合より空間解像度が劣化が少ない。また動領域ではフレーム内挿のみの場合より動きが滑らかであることを確認している。

以上の結果をまとめると

- ①フィールド/フレーム適応サブバンド符号化とフィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿を用いた時空間スケーラブル符号化により、時間解像度 2 種類、空間解像度 2 種類で計 4 種類の時間・空間解像度の異なる画像が得られることを確認した。
- ②フィールド/フレーム適応サブバンドと適応内挿は空間的低解像度画像については符号化特性においても視覚的に優れているということが確認できた。
- ③フィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿についても視覚的に動領域ではなめらかにそして静止領域でも空間的解像度の劣化を低減することができた。

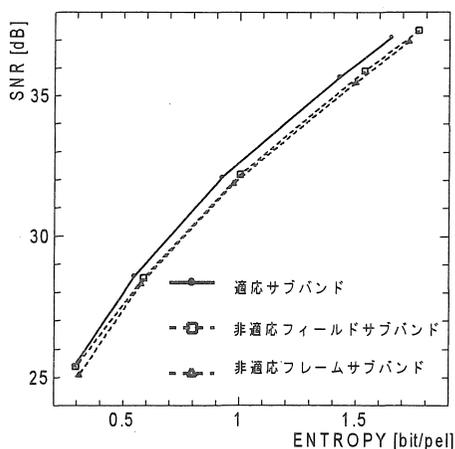


図 7 フル解像度再生画像の符号化特性

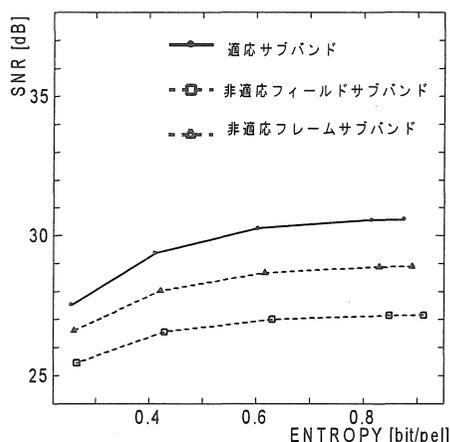
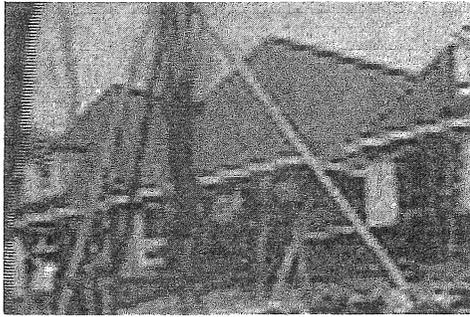


図 8 空間的低解像度再生画像の符号化特性

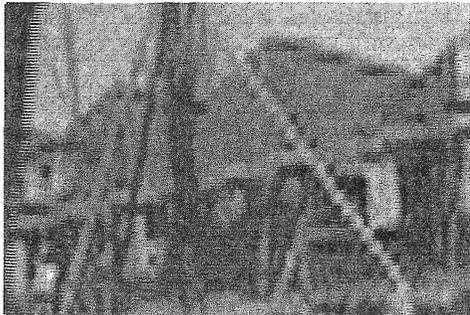
#### 4. むすび

本論文では、フィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿による時間スケーラブル符号化を、またフィールド/フレーム適応サブバンドによる空間スケーラブル符号化を行う時-空間スケーラブル符号化を提案し、その構成と特性を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・時-空間スケーラブル符号化により、1 つの符号化データから時間方向で 2 種類、空間方向で 2 種類の計 4 種類の解像度の異なる画像が得られる。



(1) フィールド/フレーム適応サブバンド



(2) フィールドサブバンド

図9 空間的低解像度画像の再生画像  
(静止領域)



(1) フィールド/フレーム適応サブバンド



(2) フレームサブバンド

図10 空間的低解像度画像の再生画像  
(動領域)

- ・フィールド/フレーム適応サブサンプリングと適応内挿により時間的低解像度画像の画質が向上し、また、フィールド/フレーム適応サブバンドにより空間的低解像度画像の画質が向上する。

今後は提案方式をカラー画像にも適用して特性を検討していきたい。

文献

- 1) Takehiro Yoshida and Katsutoshi Sawada: "Spatio-temporal Scalable Video Coding using Subband and Adaptive Field/Frame Interpolation", IEEE APCCAS'96, pp145-148, Nov.1996.
- 2) 吉田健宏、沢田克敏：適応的フィールド/フレーム内挿とサブバンド分割を用いた時-空間階層符号化,1996年電子情報通信学会総合大会, D-242, 1996.3.
- 3) 吉田健宏、沢田克敏：フィールド/フレーム適応サブサンプリングとサブバンドを用いた時-空間スケラブル符号化, 1996年電気関係学会東海支部連合大会, 780, 1996.10.
- 4) 吉田健宏、浅田昌俊、沢田克敏：フィールド/フレーム適応サブバンドを用いたスケラブル符号化, 1997年電子情報通信学会総合大会, D-11-45, 1997.3.
- 5) 木下毅、吉田健宏、加納伸康、沢田克敏：MC予測差分に対するサブバンド階層符号化, 1995年電子情報通信学会総合大会, D-339, 1995.3.
- 6) Kenji Tsunashima, Joseph B.Stamleman and V.Michael Bove, Jr.:"A Scalable Motion-Compensated Subband Image Coder", IEEE Transactions on Communications", Vol.42, No.2/3/4, pp.1894-1901, April.1994.

(受理 平成9年3月21日)